

13D

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑪ DE 3903750 A1

⑤1 Int. Cl. 5:
H01J 43/12
H 01 J 43/30
H 01 J 49/44
G 01 N 23/22

②1 Aktenzeichen: P 39 03 750.9
②2 Anmeldetag: 6. 2. 89
④3 Offenlegungstag: 16. 8. 90

DE 3903750 A1

⑦1 Anmelder:
Köhler, Eberhard, 1000 Berlin, DE

⑦2 Erfinder:
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Anodenanordnung für einen orts- und zeitauflösenden Elektronendetektor, sowie Detektoren damit

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur orts- und zeit-
aufgelösten Detektion von Elektronen mit feiner Ortsauflö-
sung und hoher Detektionsfrequenz.

Eine Elektronenwolke, wie sie etwa von einem Mikrokanal-
Elektronenvervielfacher als Effekt eines einzelnen einfallenden
Elektrons erzeugt wird, fällt auf eine gitterartige Anoden-
struktur. Dabei soll durch die räumliche Ausdehnung der
Elektronenwolke stets mehr als eine Gittersprosse getroffen
werden. Bei diesem Anodengitter sind die Gittersprossen in
spezieller Weise miteinander zu Gruppen verschaltet, so daß
aus dem Muster der Ausgangssignale der Auftreffort in einer
Dimension von der Auswertelektronik bestimmt werden
kann. Ein zweites Anodengitter mit dem selben Arbeitsprin-
zip kann dahinter angeordnet werden. Dadurch wird Be-
stimmung des Ortes in zwei Dimensionen möglich.

Solche Elektronendetektoren haben Anwendungen als
Meßgeräte in der Physik, sowie im Zusammenhang mit einer
Photokathode zur Bilderzeugung unter Nachweis einzelner
Photonen, oder zur Messung von Spektren in der Spektro-
skopie. Mit einem davorgeschalteten energiedispersiven
Element können sie als Elektronenenergie-Analysatoren
verwendet werden.

BEST AVAILABLE COPY

DE 3903750 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur orts- und zeitaufgelösten Detektion von Elektronen, wobei eine Elektronenwolke, wie sie etwa von einem Mikrokanal-Elektronenvervielfacher als Effekt eines einzelnen einfallenden Elektrons erzeugt wird, auf eine gitterartige Anodenstruktur fällt. Dabei soll durch die räumliche Ausdehnung der Elektronenwolke stets mehr als eine Gittersprosse getroffen werden.

Bekannt sind ortsempfindliche Anoden nach folgenden Prinzipien:

1. Resistive Anoden, die eine Widerstandsschicht bilden, die an ihren Enden angezapft ist und bei denen der Ort der auftreffenden Elektronenwolke nach zwei Methoden bestimmt wird (siehe J. W. Wiza, Nucl. Instrum. and Meth., Band 162, 1979, S. 587):

a) der Ladungsteilungsmethode, bei der die Elektronenladungen mit zwei ladungsempfindlichen Vorverstärkern verstärkt wird und nach einer Impulsformung aus dem Amplitudenverhältnis der beiden Impulse auf den Auftreffort der Elektronenwolke geschlossen wird;

b) der Anstiegszeitdifferenzmethode, bei der aus der Anstiegszeit der ankommenden Impulse auf die Größe des von dem Impuls durchlaufenen Widerstands und dadurch auf den Auftreffort der Elektronenwolke geschlossen wird.

2. CCD-Anoden, bestehend aus aktiven Schaltkreisen, die die eintreffenden Ladungen an jedem Bildpunkt aufintegrieren, wobei die Ladungen an den Bildpunkten nacheinander einzeln auslesbar sind.

3. Multiple Anoden, bei denen jedem Anodenteil ein Anschluß zu einer Auswerteelektronik zugeordnet ist. Je nach Auftreffort wird eine andere Anode getroffen, was nur an deren Anschluß zu einem Signal für die Auswerteelektronik führt.

Außerdem gibt es Anordnungen von Restlichtverstärkern mit nachgeschalteten CCD-Kameras zur ortsauflösenden Detektion einzelner Photonen (siehe A. Blazit, Proceedings of the International Topical Meeting on Image Detection and Quality, Paris, France, 1986, S. 259).

Ortsauflösende Elektronendetektoren haben vielfache Anwendungen als Meßgeräte in der Physik sowie im Zusammenhang mit einer Photokathode zur Bilderzeugung unter Nachweis einzelner Photonen, wie etwa bei zweidimensionaler Ortsauflösung in der Astronomie verwendet, oder bei eindimensionaler Ortsauflösung zur Messung von Spektren in der Spektroskopie. Im Zusammenhang mit einem davorgeschalteten energiedispersiven Element kann ein in einer Dimension ortsauflösender Elektronendetektor als Elektronenenergie-Analysator verwendet werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Methode der ortsauflösten und, wenn gewünscht, zeitaufgelösten Detektion von einzelnen Elektronen mit großer aktiver Fläche, feiner Ortsauflösung, hoher Detektionsfrequenz und trotzdem relativ einfachem Aufbau des Detektors darzustellen.

Das Prinzip der Erfindung beruht darauf, daß eine Elektronenwolke, deren räumliche Verteilung näherungsweise bekannt ist, auf eine Anordnung mehrerer voneinander isolierter Anoden trifft, so daß in jedem

Fall durch die räumliche Ausdehnung der Elektronenwolke mehrere Anoden gleichzeitig getroffen werden. Für eine eindimensionale Ortsauflösung bietet sich eine Anordnung ähnlich Gittersprossen in einem Gitter an, die durch ihre Zwischenräume zunächst voneinander elektrisch isoliert sind und an einem isolierenden Träger befestigt sind. Diese gittersprossenartigen Anoden sind nach einem bestimmten Verschaltungsschema leitend untereinander zu mehreren, untereinander jedoch isolierten Gittersprossengruppen verbunden, die einzeln an eine Auswerteelektronik angeschlossen sind.

Das Verschaltungsschema ist so ausgeführt, daß aus den Ausgangssignalen der Gittersprossengruppen auf die örtliche Auftreffposition der Elektronenwolke geschlossen werden kann. Aus dem Muster der überhaupt von der Elektronenwolke getroffenen Gittersprossengruppen kann die Identität der einzelnen getroffenen Gittersprossen und so die Auftreffposition in grober Auflösung hergeleitet werden. Hierzu genügt eine binäre Information über die eventuelle Überschreitung eines Schwellwertes durch das Ausgangssignal bei jeder Gittersprossengruppe.

Dabei wird folgendes Prinzip verwendet: Es wird davon ausgegangen, daß von der Elektronenwolke aufgrund ihrer zu erwartenden Ausdehnung mindestens eine Anzahl L von Gittersprossen ausreichend getroffen wird, um mit ihrem Ausgangssignal den Schwellwert der Auswerteelektronik zu überschreiten, höchstens jedoch eine Anzahl M . Jede Gittersprosse gehört zu einer der K Gittersprossengruppen, und die Überschreitung des Schwellwertes durch sein Signal wird nur für die ganze Gittersprossengruppe gemeinsam erkannt; das heißt, es kann nicht erkannt werden, welche einzelne Gittersprosse die Elektronen aufgefangen hat. Betrachtet man nun eine Anzahl N von direkt nebeneinanderliegenden Gittersprossen an einer beliebigen Position des Gitters, wobei N mindestens gleich L , höchstens aber gleich M ist, so muß die Zuordnung der Gittersprossen zu ihren Gittersprossengruppen so angelegt sein, daß in jedem Fall eine einmalige und dadurch für diese Position charakteristische Kombination der N aus den K Gittersprossengruppen angesprochen wird. Dann kann aus der Kombination der durch eine Elektronenwolke zur Überschreitung des Schwellwertes ausreichend getroffenen Gittersprossengruppen auf die Position der tatsächlich getroffenen einzelnen nebeneinanderliegenden Gittersprossen eindeutig geschlossen werden.

Zusätzlich kann eine feine Positionsbestimmung, in ihrer Auflösung feiner als die Gittersprossenperiode, durchgeführt werden, indem die Amplituden der Signale der getroffenen Gittersprossengruppen in ihrem Verhältnis zueinander quantitativ ausgewertet werden, indem man die Kenntnis der Dichteverteilung der Elektronen in der Elektronenwolke ausnutzt. Diese feine Positionsinformation kann dann mit der groben Positionsinformation für eine Gesamtpositionsbestimmung verknüpft werden.

Ansonsten sind noch Diskriminatorschaltungen zur Ausblendung von Untergrundrauschen und von Doppel- oder Mehrfachpulsen sinnvoll, damit die Möglichkeit des fast gleichzeitigen Eintreffens zweier oder mehr Elektronenwolken und eine dadurch verursachte falsche Positionsinformation ausgeschlossen wird.

Das Anodengitter und die Verschaltung können mittels photolithographischer Ätz- und Aufdampftechnik hergestellt werden.

Werden die Abstände zwischen den gittersprossenartigen Anoden groß genug ausgeführt, können die hin-

durchtretenden Anteile der Elektronenwolke einer weiteren Auswertungsstufe zugeführt werden, die etwa zur Erzielung einer zweidimensionalen Ortsauflösung ein zweites Anodengitter ist, das gegen das erste um 90 Grad gedreht ist.

Weiterhin können die Elektronen, die durch das erste und durch das zweite Anodengitter (soweit vorhanden) hindurchgetreten sind, von einer flächigen Auffanganode abgesaugt werden, an deren Anschluß ein zusätzliches flächenintegriertes Signal verfügbar ist.

Mit der beschriebenen Erfindung ist eine höhere Auszeichnungsfrequenz und zeitliche Auflösung möglich als bei resistiven Anoden wegen eines rascheren Ladungsabflusses über Signalwege mit niedrigem Widerstand. Außerdem ist die Ortsinformation von vornherein teilweise digital vorhanden, wodurch sie genauer ausgewertet werden kann und weniger stör anfällig ist.

Bei Verwendung bisheriger multipler Anoden stellt es ein Problem dar, daß zur Erzielung größerer Ortsauflösungen eine Vielzahl von Anoden nötig ist, so daß auch eine entsprechende Anzahl von Auswerteelektroniken und elektrischen Vakuumdurchführungen nötig wird.

Gegenüber als CCD-Bauelement ausgeführten Anoden ergibt sich der Vorteil der genauen Bestimmbarkeit von Ort und Eintreffzeit bei jeder einzelnen Elektronenwolke. Außerdem kann eine größere Anodenfläche ausgeführt werden als bei CCD-Bauelementen heutiger Technologie.

Dasselbe gilt auch für Restlichtverstärker mit nachgeschalteter CCD-Kamera, wobei auch der Aufwand noch größer ist.

In Fig. 1 ist als Anwendungsbeispiel der schematische Aufbau eines Photonendetektors mit Auflösung in zwei Dimensionen angegeben. Das Photon fällt durch das Eintrittsfenster (10) auf die Photokathode (11) vom Typ S. 20. Das dadurch emittierte Elektron wird auf die erste Mikrokanal-Platte (13) beschleunigt, deren Eintrittsfläche zur Reduzierung des Rückflusses positiver Ionen mit einer ca. 10 µm dicken Aluminiumoxid-Schicht (12) überzogen ist. Um eine Verbreiterung der resultierenden Elektronenwolke zu erzielen, wird zwischen den Mikrokanalplatten (13) und (14) eine gewisse Distanz gelassen. Durch Variation der Spannung auf dieser Distanz kann die Breite der Elektronenwolken gesteuert werden. Bei den Mikrokanal-Platten werden doppelt dicke Ausführungen in der sogenannten Chevron-Anordnung verwendet. Die Position der aus der zweiten Mikrokanal-Platte (14) austretenden Elektronenwolke wird bezüglich der senkrecht auf der Zeichnungsebene stehenden Richtung durch das Anodengitter (16) bestimmt, deren Gittersprossen parallel zur Zeichnungsebene verlaufen. Die Position der durch die Zwischenräume im Anodengitter (16) hindurchfallenden Elektronen wird bezüglich der parallel zur Zeichnungsebene liegenden Richtung durch das Anodengitter (17) bestimmt, deren Gittersprossen senkrecht zur Zeichnungsebene stehen. Die Träger (15) und (18) der Anodengitter sind auf der zum jeweils anderen Anodengitter abgekehrten Seite angeordnet, um einen möglichst geringen Abstand zwischen den Anodengittern bei gleicher Bauart zu ermöglichen. Die auch durch das zweite Anodengitter hindurchtretenden Elektronen werden von der Auffanganode (19) aufgenommen. Nicht dargestellt sind in dieser schematischen Darstellung die Aufhängungen der Elemente, die elektrischen Anschlüsse, sowie die Verschaltung der Gittersprossen der Anodengitter (16) und (17).

Fig. 2 stellt an einem vereinfachten Beispiel das Funk-

tionsprinzip der groben Positionserkennung dar. Die acht Gittersprossen (20) sind zu fünf Gruppen verschaltet, die an die fünf Auswerteeinheiten (21) bis (25) angeschlossen sind. Die weitere Auswertung ist nicht eingezeichnet. Die auftreffenden Elektronenwolken sollen rund und scharf begrenzt sein. Drei Profile (26), (27) und (28) von auftreffenden Elektronenwolken sind schraffiert dargestellt. Aufgrund ihrer Ausdehnung bestreichen sie zwei (bei (26) und (27)) oder drei Gittersprossen (bei (28)). Beim Auftreffen der Elektronenwolke bei Position (26) wird Auswerteeinheit (22) und (23) angesprochen, beim Auftreffen der Elektronenwolke bei Position (27) dagegen Auswerteeinheit (21) und (25). Beide Kombinationen sind einmalig und können durch keine anderen Positionen der Elektronenwolken ausgelöst werden (wobei vertikale Verschiebungen nicht betrachtet werden). Eine Elektronenwolke an Position (28) aktiviert drei Auswerteeinheiten, nämlich (22), (24) und (25). Auch diese Kombination ist einmalig und weist deshalb direkt auf die Auftreffstelle (28) hin.

Ebenso ist jede andere mögliche Kombination von zwei oder drei angesprochenen Auswerteeinheiten bei der gezeigten Verschaltung einmalig und daher für die Position der auslösenden Elektronenwolke in horizontaler Richtung signifikant. Mithin können in diesem Beispiel mit den acht Gittersprossen und fünf Auswerteeinheiten dreizehn verschiedene Positionen unterschieden werden.

Fig. 3 dient zur Erläuterung des Prinzips der feinen Positionsbestimmung. Auf das Anodengitter (30) fällt die Elektronenwolke, deren Elektronendichteverteilung in der Verteilungsfunktion (31) dargestellt wird. Die schraffierten Teile sind die Anteile, die von dem Anodengitter aufgefangen werden. Die Amplituden der resultierenden Ausgangssignale sind als Balkendiagramm (33) angegeben. Bei einer Schwellenamplitude (34) erzeugen die mit einem Stern gekennzeichneten Signale eine binäre "eins" für die grobe Positionsbestimmung, alle anderen eine "null". Aus der daraus folgenden groben Positionsbestimmung ist dann bereits die Identität der einzelnen angesprochenen Gittersprossen bekannt, ebenso wie die ungefähre Position der Mitte der Elektronenwolke (32), nämlich in der Nähe von der Gittersprosse an Position (36). Nun können als aussagekräftigste Signale diejenigen an den Positionen (35) und (37) ausgewählt und digitalisiert werden, wonach unter Ausnutzung der Kenntnis der zu erwartenden Elektronendichte-Verteilungsfunktion (31) die tatsächliche Position der Mitte der Elektronenwolke (32) berechnet werden kann.

In Fig. 4 ist ein Blockschaltbild einer Schaltung zur Auswertung der Ausgangssignale des Anodengitters (40) dargestellt. In diesem Beispiel sei die Verschaltung von zweitausend Gittersprossen zu achtzehn Gittersprossengruppen angenommen. In dem achtzehnfachen ladungsempfindlichen Vorverstärker (41) werden die Signale verstärkt, um dann in die achtzehnkanaelige Pulsformungs-Einheit (42) zu gelangen. Hier werden die Signale aufintegriert und gehalten, bis die weitere Auswertung vollendet ist. Außerdem wird aus allen achtzehn Einzelsignalen eine Summe gebildet. Ist sie zu klein oder zu groß, wird das ganze Ereignis ignoriert, ansonsten werden die achtzehn Einzelsignale mit Verstärkern, die alle synchron in ihrer Verstärkung steuerbar sind, so verstärkt, daß die Summenamplitude der Signale danach normiert ist. Am Trigger-Ausgang (43) wird das Eintreffen eines weiterverarbeitbaren Signals angezeigt. Im nachfolgend angeschlossenen Komparator (44)

werden die Ausgangssignale als oberhalb oder unterhalb der eingestellten Schwelle (34) liegend unterschieden. Die daraus resultierenden achtzehn Bit werden einem geeignet programmierten Festwertspeicher (45) zugeführt, an dessen Ausgängen folgende Signale verfügbar sind: die grobe Position (56) der Elektronenwolke, die Anzahlinformation (57) der oberhalb der Schwelle des Komparators (44) liegenden Signale, die auch an Ausgang (46) als Information zu Einstellzwecken, etwa der Komparatorschwelle oder der Elektronenwolkenbreite, zur Verfügung steht. Schließlich die zwei Auswahlinformationen (58) für die Analog-Demultiplexer (47) und (48), die damit aus den achtzehn Signalen die zwei zur feinen Positionsbestimmung geeigneten auswählen, wie etwa die Signale bei (35) und (37) in Fig. 3. Sie werden in den Analog-Digital-Wandlern (50) und (51) digitalisiert, die digitalen Amplitudeninformationen (59) werden dann einem weiteren Festwertspeicher (52) zugeführt, der dann unter Kenntnis der Anzahlinformation (57) eine feine Positionsbestimmung vornimmt, deren Ergebnis im Addierer (54) zur Gesamtposition verknüpft wird, die an Ausgang (55) zur Verfügung steht. Falls die Amplitudeninformationen (59) auf einen Fehler hinweisen, wird an Ausgang (53) ein Fehlerzustand signalisiert.

Bei Benutzung schneller Verstärker und Analog-Digital-Wandler kann die für die gesamte Auswertung benötigte Zeit unterhalb von 1,5 μ s gehalten werden. Durch Benutzung von Pipelining-Techniken kann sie noch weiter verkürzt werden.

Patentansprüche

1. Anodenkonfiguration eines Elektronendetektors für einzelne zusammenhängende Elektronenwolken, wie sie etwa als Effekt eines einzelnen einfallenden Elektrons aus einem Elektronenvervielfacher austreten, mit Erkennung des Auftreffortes der Elektronenwolke in zumindest einer Dimension, wobei die Anode zumindest teilweise gitterartige Struktur hat und die Elektronenwolke durch ihre räumliche Ausdehnung stets mehr als eine Gittersprosse trifft, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrischen Signale der Gittersprossen nicht einzeln ausgewertet werden, sondern die Gittersprossen mittels leitender Verbindungen in spezieller Weise zu untereinander jeweils isolierten Gruppen verschaltet sind, deren elektrische Signale dann ausgewertet werden, wobei diese Verschaltung so geartet ist, daß bei bekannter Dichteverteilung der Elektronen in der Elektronenwolke aus dem Muster der Amplituden der an diesen Gruppen abgegriffenen Ausgangssignale der Auftreffort der Elektronenwolke eindeutig bestimmt werden kann. Dies wird erreicht, indem die Gittersprossen ihren Gruppen so zugeordnet sind, daß für jedes N -tupel direkt nebeneinanderliegender Gittersprossen die Kombination ihrer Gruppenzugehörigkeiten ohne Beachtung der Reihenfolge einmalig im ganzen Anodengitter ist, wobei N im Bereich der möglichen Anzahlen von Gittersprossen variiert, die von einer Elektronenwolke durch ihre räumliche Ausdehnung gleichzeitig signifikant getroffen werden können.

2. Anodenkonfiguration eines Elektronendetektors für einzelne zusammenhängende Elektronenwolken, wie sie etwa als Effekt eines einzelnen einfallenden Elektrons aus einem Elektronenvervielfa-

cher austreten, mit Erkennung des Auftreffortes der Elektronenwolke in zwei Dimensionen, bestehend aus zwei Anodengittern nach Anspruch 1, die hintereinander angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Gittersprossen der zwei Anodengitter, vorzugsweise im Winkel von 90 Grad, überkreuzen, wenn entlang der Bewegungsbahnen der Elektronen betrachtet. Dabei fallen die Elektronen, die durch das erste Anodengitter hindurchgetreten sind, auf das zweite, dahinter angeordnete Anodengitter. Das zweite Anodengitter liefert eine Positionsinformation bezüglich der Richtung, für die das erste nicht empfindlich ist.

3. Elektronendetektor für den in zumindest einer Dimension orts aufgelösten Nachweis einzelner Elektronen, dadurch gekennzeichnet, daß die nachzuweisenden Elektronen auf einen Elektronenvervielfacher treffen, der die gewünschte Ortsinformation erhält, wie etwa ein Mikrokanalplatten-Elektronenvervielfacher, dessen ausgangsseitig austretende Elektronenwolke auf ein Anodensystem nach Anspruch 1 oder Anspruch 2 trifft.

4. Photomultiplier für den in zumindest einer Dimension orts aufgelösten Nachweis einzelner Photonen, dadurch gekennzeichnet, daß die nachzuweisenden Photonen auf eine Photokathode treffen, deren dadurch ausgelöste Photoelektronen auf einen Elektronendetektor nach Anspruch 3 geleitet werden.

5. Dispersiver Elektronenenergie-Analysator unter Verwendung eines Ablenssystems, das die zu messenden Elektronen zu einem für ihre Geschwindigkeitsenergie spezifischen Ort leitet, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektronen unter Bestimmung dieses Ortes von einem Elektronendetektor nach Anspruch 3 gemessen werden.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

BEST AVAILABLE COPY

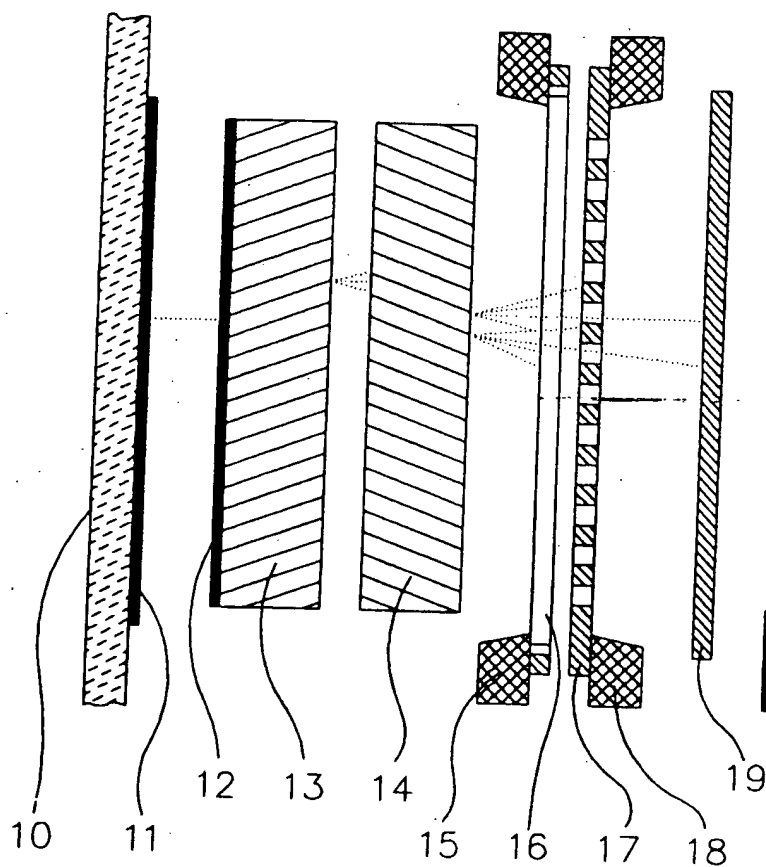


FIG. 1

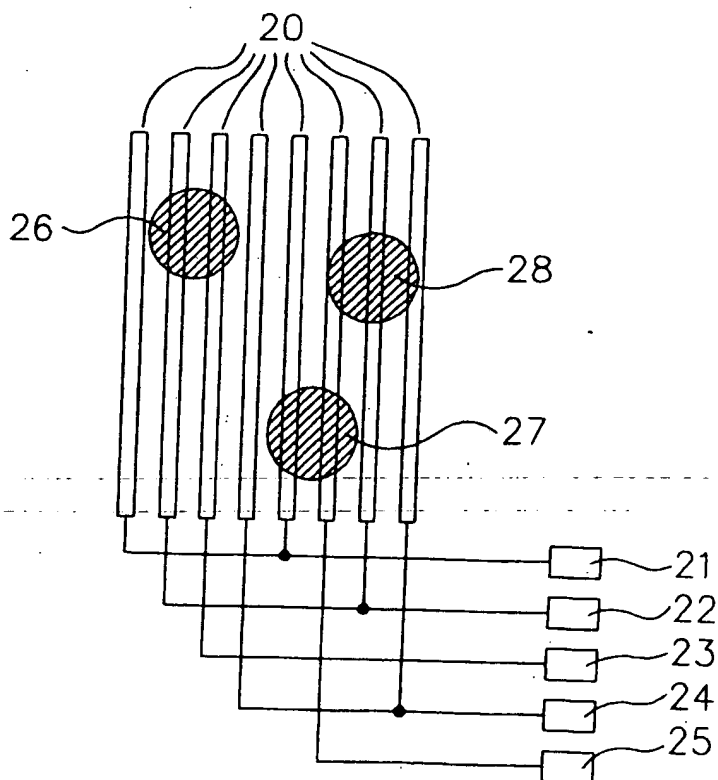
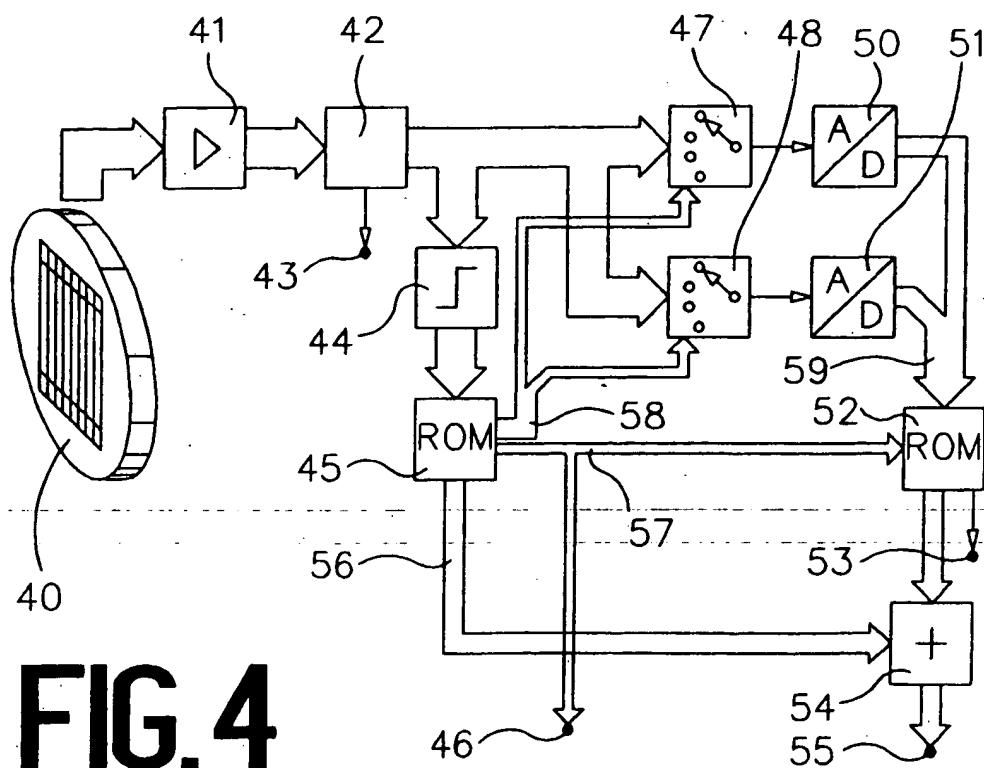
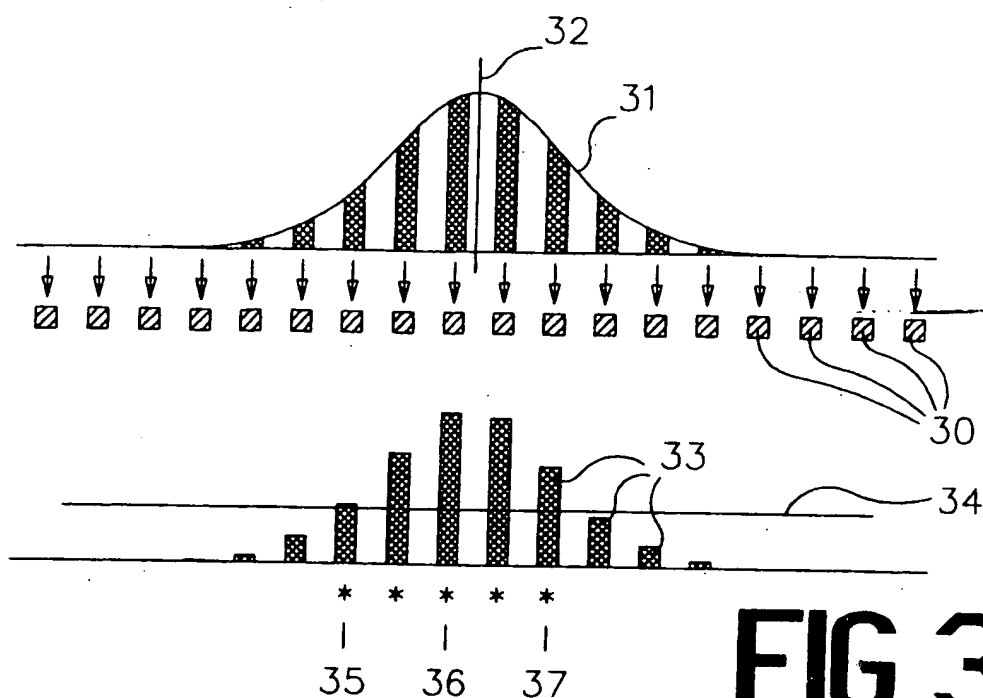


FIG. 2



BEST AVAILABLE COPY